

УДК 624.012.3

ВЛИЯНИЕ КРУЧЕНИЯ В МНОГОПУСТОТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТАХ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ

Е.В. АВЛАСКО

(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Рассматривается проблема кручения в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования, которые благодаря своей большой несущей способности, большому пролету и значительно лучшему в сравнении с другими качеству получили широкое распространение и сегодня все чаще применяются при строительстве различных зданий и сооружений. Кручение в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования возникает большей частью как вторичный эффект силового воздействия. Представлены результаты экспериментальных исследований таких конструкций при совместном действии изгиба с кручением. Определены особенности трещинообразования данных плит. Сделан вывод о влиянии величины крутящего момента на характер развития трещин в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования при таком сложном напряженно-деформированном состоянии, как изгиб с кручением.

Введение. Кручение в железобетоне представляет собой весьма сложное явление, которое в чистом виде почти не встречается, но в сочетании с изгибом бывает весьма частым. В сравнении с изгибом сопротивление железобетонных элементов кручению существенно меньше, поэтому влияние даже относительно небольших по абсолютному значению крутящих моментов необходимо учитывать.

В настоящее время в строительной отрасли широко используются многопустотные железобетонные плиты безопалубочного формования. Благодаря своей большой несущей способности, большому пролету и значительно лучшему качеству они все чаще применяются при строительстве различных зданий и сооружений. В международной практике расчет многопустотных плит безопалубочного формования выполняется с использованием нормативных документов, в частности, с использованием СТБ EN 1168-2012 [1] и ACI 318R-95 (Примечания к американским нормам ACI BUILDING CODE 318-95).

Следует отметить, что исследованию плит пустотного настила были посвящены работы различных авторов. Вместе с тем комбинация изгиба и кручения для таких конструкций исследована в недостаточной мере. Практически к рассмотрению этой проблемы можно отнести крайне ограниченное количество работ, включая исследования Н. Gabrielsson, J.C. Walraven, W.P.M. Mercx, A.P. van der Marel, выполненные на плитах, опертых по трем сторонам. Финским исследователем Matti Pajari [2] была выполнена научно-исследовательская работа с целью разъяснения взаимодействия среза и кручения в предварительно напряженных полых плитах. Были проведены испытания под нагрузкой плит одинаковой ширины и длины, но различной высоты. Наиболее обширным исследованием последних лет следует считать работы Helen Broo [3; 4], где феномен совместного действия среза и кручения изучался на нелинейных конечно-элементных моделях с применением комплекса «ANSYS». Предложенные методы моделирования могут использоваться отдельно или в комбинации с обычными методами для улучшения оценки работы железобетонных конструкций произвольного поперечного сечения, работающих в условиях среза с кручением.

Таким образом, работа многопустотных железобетонных плит безопалубочного формования при изгибе с кручением является малоисследованным направлением. Вопрос о характере разрушения, несущей способности, трещиностойкости и деформативности этих конструкций в условиях такого напряженно-деформированного состояния остается открытым [5, с. 187 – 188]. Это требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований, на основании которых можно совершенствовать методы расчета таких конструкций с учетом потребностей строительной индустрии, тем более развитие компьютерной техники уже сегодня дает возможность разработать методику расчета железобетонных элементов, подвергнутых изгибу с кручением, на основе деформационной модели. Это в свою очередь позволит выполнять расчеты с более глубоким физическим смыслом явлений, который не учитывают эмпирические методы расчета. Расширение области применения деформационных методов расчета бетонных и железобетонных конструкций при сложном напряженно-деформированном состоянии, в том числе при изгибе с кручением, является одним из наиболее важных направлений развития теории бетона и железобетона.

Цель представляемых в данной работе экспериментальных исследований – получение сведений о трещинообразовании, деформировании и разрушении многопустотных железобетонных плит безопалубочного формования, работающих на изгиб с кручением.

В процессе экспериментальных исследований решались следующие задачи:

- проведение испытаний многопустотных железобетонных плит безопалубочного формования по двум схемам, соответствующим работе плит при кручении и изгибе с кручением;
- определение основных параметров (характер развития трещин в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования; изменение угла наклона трещин по мере варьирования соотношения крутящего и изгибающего моментов; относительные деформации сжатого бетона с использованием механических индикаторов часового типа, установленных на базе 200 мм; прогибы в опытных плитах с помощью прогибомеров с ценой деления 0,01 мм).

Исходные материалы и характеристики

Объем эксперимента включал в себя испытания семи железобетонных многопустотных плит безопалубочного формования, выполненных на оборудовании «Вибропресс» (Россия). Все опытные образцы были изготовлены в заводских условиях ПРУП «Новополоцкжелезобетон» (г. Новополоцк).

Размеры конструкций по длине определялись мощностью и габаритами имеющегося оборудования для испытания.

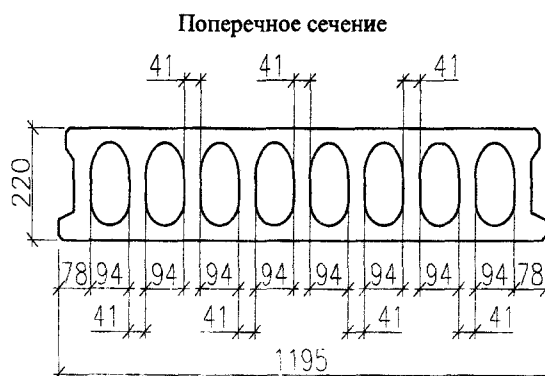
Опытные образцы изготовлены в соответствии с требованиями СТБ 1383-2003 [6] по типовой серии Б1.041.1-5.09.

Плиты перекрытия многопустотные безопалубочного формования (экструзионные) выполнены из тяжелого бетона, длиной 6 м, под расчетную нагрузку 8,0 кПа; армированы высокопрочной проволокой S1400 17Ø5 мм, которая используется для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций, применяемых в ответственных сооружениях, и изготавливается из высокоуглеродистой стали с расчетным сопротивлением $f_{yd}(f_{0,2d}) = 1165 \text{ Н/мм}^2$.

Общая информация об опытных образцах сведена в таблицу.

Характеристики исследуемых плит

Марка изделия	2ПТМ 60-12.22-8 S1400
Объем 1 шт., м ³	1,507
Вес 1 шт., кг	2225
Класс бетона по прочности	C25/30
Отпускная нормируемая прочность, %	80
Фактическая отпускная прочность, МПа	30,9
Морозостойкость	F50
Огнестойкость	EI 60
Класс пожарной опасности	КО



Опытные образцы – плиты, предназначенные для применения в жилых, общественных и производственных зданиях с несущими стенами из кирпича или крупных блоков, а также в полносборных каркасных зданиях, эксплуатируемых в условиях неагрессивной, слабоагрессивной и среднеагрессивной степени воздействия газовой среды.

Конструкция испытательной установки

Для получения необходимых опытных данных в соответствии с поставленными задачами была спроектирована испытательная установка. Конструкции нагружали при помощи гидравлического домкрата, запитанного от насосной станции, и траверс, распределяющих нагрузку на необходимое количество составляющих. Система траверс монтировалась таким образом, чтобы обеспечить передачу нагрузки в

определенные точки и тем самым получить в опытных плитах различные напряжено-деформированные состояния (кручение, изгиб с кручением). Непосредственно на домкрат устанавливалась короткая траверса, которая посредством троса связывалась с силовым полом. Особое внимание уделялось опорным узлам (применялась система перекрестных ролов, с помощью которых были возможны деформации в двух направлениях).

Методика проведения экспериментальных исследований

При проведении экспериментальных исследований определялись основные параметры, связанные с прочностью, деформативностью, образованием и раскрытием трещин в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования при изгибе с кручением.

Конструкции были разделены на две серии:

- первая – серия плит, испытанных на кручение (П1 – П3);
- вторая – серия плит, испытанных на изгиб с кручением с разными соотношениями крутящего и изгибающего моментов (П4 – П7).

Соотношения изгибающего и крутящего моментов были выбраны таким образом, чтобы во всех плитах второй серии после испытаний получить пространственную трещину под различным углом наклона.

В экспериментальных исследованиях на каждом этапе нагружения проводились измерения деформаций, ширины раскрытия трещин, прогибов в середине и в третях пролета.

Прогибы в опытных плитах измерялись с помощью прогибомеров с ценой деления 0,01 мм. Прогибомеры устанавливались на специальной рамке, таким образом учитывалась подвижность основания испытательной установки.

Деформации бетона по высоте сечения плиты измерялись индикаторами часового типа, установленными на базе 200 мм. За нулевые отсчеты приборов принимались отсчеты с учетом собственного веса плиты.

Перед ожидаемым моментом трещинообразования растянутая зона каждой плиты тщательно осматривалась, появление трещин фиксировалось визуально. По мере дальнейшего нагружения велись наблюдения за появлением новых трещин и развитием уже имеющихся с помощью отсчетного микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм; во время выдержки под нагрузкой отмечали развитие трещин по высоте; производили их зарисовку.

Нагрузку прикладывали ступенями не более 5 – 10 % от разрушающей. На каждом этапе нагружения фиксировались показания приборов, а также образование и развитие трещин.

Результаты исследований. Проведенные испытания опытных плит по двум схемам, соответствующим их работе при кручении и при совместном действии изгиба с кручением, позволили получить новые данные о нагрузках трещинообразования и разрушения.

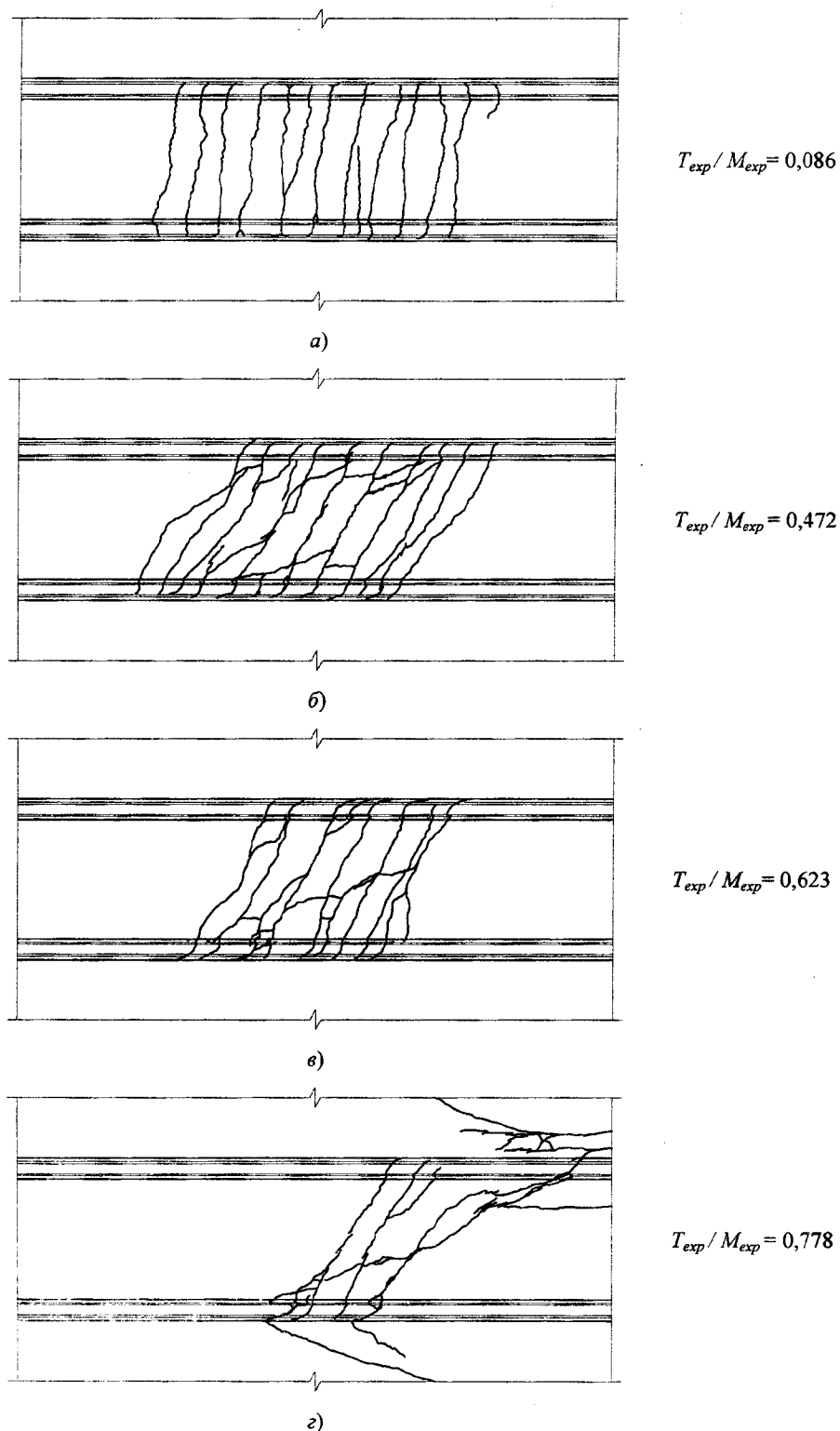
Экспериментально определен характер трещинообразования и развития трещин в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования; определено изменение угла наклона трещин по мере варьирования соотношения крутящего и изгибающего моментов.

Опытные плиты 1-й серии, испытанные на кручение, разрушились по спиральной трещине, наклоненной во всех образцах под углом 45° к оси балки, в момент, когда максимальные косые растягивающие напряжения превысили прочность материала на растяжение. При действии крутящего момента в начальной стадии железобетонная плита работала упруго. В ней возникали касательные, а следовательно и главные, сжимающие и растягивающие, напряжения, ориентированные под углом 45° по отношению к продольной оси элемента. После того как удлинение бетона по направлению действия главных растягивающих напряжений достигло предельных значений, в бетоне образовалась спиральная трещина на верхней грани плиты, её раскрытие было мгновенным.

Разрушение опытных плит 2-й серии, испытанных на совместное действие кручения с изгибом, происходило спокойнее, оно не наступало сразу после появления первой трещины. Если значение крутящего момента было невелико, как в плите П4, то трещины развивались по нижней грани плиты почти как при «чистом изгибе». С увеличением крутящего момента (плиты П5 – П7) угол наклона трещин к продольной оси уменьшался. В плитах П4 – П6 спиральные трещины развивались только в зоне, растянутой от совместного действия изгибающего и крутящего моментов (по нижней полке и боковым граням). После образования спиральных трещин усилие в направлении главных растягивающих напряжений воспринимала арматура, а усилие, действующее по направлению главных сжимающих напряжений, – бетон. В плите П7 разрушение произошло по пространственному сечению с последующим раздроблением бетона сжатой зоны.

Таким образом, была установлена зависимость угла наклона трещин к продольной оси от соотношения крутящего и изгибающего моментов (т.е. увеличение проекции трещин с увлечением соотношения крутящего к изгибающему моменту). Также во второй серии с увеличением крутящего момента была отмечена закономерность смещения области развития трещин в противоположную от кручения сторону.

Развертка граней многопустотных железобетонных плит безопалубочного формирования второй серии после разрушения представлена на рисунке.



Развертка граней опытных плит второй серии после разрушения:
плиты П4 (а) плиты П5 (б), плиты П6 (в), плиты П7 (г)

Заключение. При проведении экспериментальных исследований были получены опытные данные о прочности и жесткости многопустотных железобетонных плит безопалубочного формирования при кручении и изгибе с кручением.

Выявлены особенности трещинообразования таких конструкций:

- величина крутящего момента существенно влияет на характер появления трещин в многопустотных железобетонных плитах безопалубочного формования;
- угол наклона трещин к продольной оси с увеличением крутящего момента уменьшается;
- с увеличением крутящего момента область развития трещин смещается в противоположную от кручения сторону;
- разрушение при кручении происходит по спиральной трещине, наклоненной под углом 45° и развивающейся по верхней грани плиты мгновенно;
- образование спиральной трещины при кручении происходит в более нагруженной грани, которой может быть как внешняя (периметрическая), так и внутренняя;
- изгиб увеличивает сжимающие напряжения на верхней грани, вызывая тем самым увеличение крутящего момента, при котором появляется первая трещина; кручение же, как изгиб, вызывает появление растягивающих напряжений на нижней грани и, таким образом, снижает величину изгибающего момента, при котором образуется первая трещина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изделия железобетонные сборные. Плиты многопустотные: СТБ EN 1168-2012. – Введ. 20.04.2012. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2013. – 60 с.
2. Pajari, Matti. Shear-torsion interaction tests on single hollow core slabs / Matti Pajari. – Finland: VTT Information Service, 2004. – 76 p. + app. 122 p.
3. Broo, H. Finite element analyses of hollow core units subjected to shear and torsion / H. Broo, K. Lundgren. – Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2002. – 48 p. + app. 10 p.
4. Broo, H. Shear and torsion in concrete structures / H. Broo. – Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2008. – 58 p.
5. Авласко, Е.В. Экспериментальные исследования многопустотных железобетонных плит безопалубочного формования при совместном действии изгиба с кручением / Е.В. Авласко, Д.Н. Лазовский // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. тр. Т. 1. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – С. 187 – 191.
6. Плиты покрытий и перекрытий железобетонные для зданий и сооружений. Технические условия: СТБ 1383-2003. – Введ. 28.02.2003. – Минск: М-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 24 с.

Поступила 28.11.2013

INFLUENCE OF TORSION ON REINFORCED CONCRETE HOLLOW-CORE SLABS

E. AVLASKO

We consider the problem of torsion of reinforced concrete hollow-core slabs. These constructions are widely used due to their large bearing capacity, large spans and quality. Today they are increasingly used in the construction of various buildings and structures. Torsion in reinforced concrete hollow-core slabs occurs mostly as a secondary effect of force action. The paper presents the results of experimental tests of such constructions subjected to bending and torsion. Features of cracking in these slabs are identified. Conclusions about the impact of the amount of torque on the character development of cracks in reinforced concrete hollow-core slabs in such a complex stress-strain state as bending and torsion are drawn.